

SISTEM KONTROL MINI LIFT BARANG MENGGUNAKAN FUZZY LOGIC CONTROLLER SEBAGAI PENGENDALI KECEPATAN MOTOR DC BERBASIS LABVIEW

Ahmad Irfan Soehartono

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia

e-mail : ahmadsoehartono@mhs.unesa.ac.id

Bambang Suprianto

Dosen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia

e-mail : bambangsuprianto@unesa.ac.id

Abstrak

Memindahkan barang secara vertikal pada bangunan bertingkat umumnya menggunakan pengkatrolan barang secara manual. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang sistem pengaturan kecepatan motor dc pada lift barang menggunakan *Fuzzy Logic Controller*, sebagai salah satu wujud perkembangan teknologi kendali zaman modern.. Perancangan hardware ini menggunakan *Arduino* sebagai pusat kontrol dengan memasukkan himpunan *fuzzy logic* dan fungsi keanggotaan sebagai pengendali kecepatan yang terintegrasi dengan aktuator motor dc serta sensor rotary encoder sebagai pembaca kecepatan. Sehingga lift barang mampu bergerak dengan stabil. Hasil penelitian menunjukkan bahwa respon sistem pengendali kecepatan pada sistem mini lift barang menggunakan *Fuzzy Logic Controller* dengan nilai respon dinamik terbaik dapat memperbaiki respon sistem dengan *Ess* sebesar 0.2%, *td* selama 0.67 s, *tr*(5%–95%) selama 2.85s, *tr*(10%–90%) selama 2.13 s, *ts*(5%) pada 2.91s, *ts*(2%) pada 3.88 s, dan *ts* (0,5%) pada 4.85 s.

Kata Kunci: Lift Barang, *Fuzzy Logic Controller*, *Arduino*, Sensor Rotary Encoder, Motor DC.

Abstract

Moving things vertically on skyscraper generally use manual item cataloging. The purpose of this study is to design a dc motor speed control system on a freight elevator using Fuzzy Logic Controller, as one manifestation of the development of modern control technology. This hardware design uses *Arduino* as a control center by incorporating a fuzzy logic set and membership functions as speed controllers integrated with dc motor actuators and rotary encoder sensors as a speed reader. So that the freight elevator can move stably. The results showed that the response of the speed control system to the freight elevator system using Fuzzy Logic Controller with the best dynamic response value can improve the system response with *Ess* of 0.2%, *td* for 0.67 s, *tr*(5%–95%) for 2.85 s, *tr*(10%–90%) for 2.13 s, *ts*(5%) at 2.91 s, *ts*(2%) at 3.88 s, and *ts* (0,5%) at 4.85 s.

Keywords: Freight Elevator, Fuzzy Logic Controller, *Arduino*, Rotary Encoder Sensor, DC Motor.

PENDAHULUAN

Pada zaman modern ini, sistem buatan manusia yang berbasis teknologi untuk memenuhi kebutuhan sangatlah beragam. Dengan tujuan untuk mempermudah pekerjaan manusia agar lebih cepat, mudah, nyaman dan aman. Untuk merancang sebuah sistem, maka diperlukan komponen-komponen pendukung yang dapat bekerja secara konstan, harmonis, dan kontinyu. Sehingga serangkaian komponen tersebut akan menghasilkan sebuah kunci yang merupakan indikator keberhasilan dari sebuah sistem. Maka dari hal tersebut, muncul sebuah sistem kendali. Dimana sistem kendali merupakan suatu kesatuan komponen dan alat yang dapat mengatur, mengendalikan, memerintah dan memonitoring sebuah sistem.

Dari sebuah sistem yang memiliki *Fuzzy Logic Controller*, dapat diimplementasikan pada kegiatan sehari-hari. Hal ini membuat semakin berkembangnya *home industry* dan minimarket yang memindahkan barang secara vertikal. Dimana sebelumnya menggunakan pengkatrolan barang secara manual, menjadi lebih modern dan efisien.

Penelitian skripsi ini adalah untuk mendesain dan membangun lift barang yang kecepatannya dapat dikontrol sampai dengan set point yang diinginkan. Dengan mengatur kecepatan lift barang tersebut, diharapkan dapat memindahkan barang dengan waktu yang sama meskipun berat barang yang dipindahkan berbeda-beda.

KAJIAN PUSTAKA

Lift Barang

Lift barang adalah alat transportasi bangunan bergerak secara vertikal yang dapat digunakan untuk memudahkan pekerjaan manusia, dimana dapat mengangkut orang barang. Sering dijumpai, lift umumnya digunakan pada gedung-gedung bertingkat tinggi berlantai 2 ataupun lebih. Meskipun pada gedung-gedung bertingkat rendah hanya memiliki tangga atau eskalator, namun lift tetap menjadi pilihan utama sebagai transportasi penumpang dan barang. Dengan fungsi memindahkan penumpang dan barang menuju lantai lainnya secara lebih mudah, efisien, dan *safety*. (Widi Prabawasari, 2012)

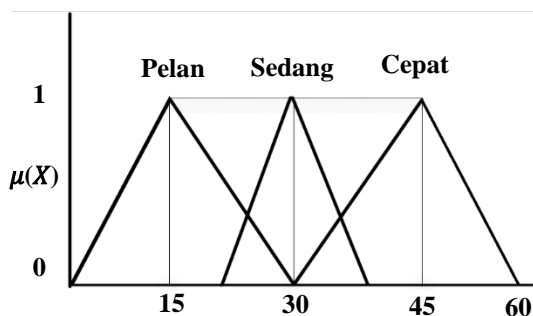
Fuzzy Logic Controller

Fuzzy Logic Controller adalah Sistem yang dapat merepresentasikan pengetahuan manusia ke dalam bentuk matematis dengan lebih menyerupai cara berpikir manusia. Pengontrol dengan *Fuzzy Logic Controller* mempunyai kelebihan yaitu dapat mengontrol sistem yang kompleks, non- linier, atau sistem yang sulit direpresentasikan kedalam bentuk matematis. Selain itu, informasi berupa pengetahuan dan pengalaman mempunyai peranan penting dalam mengenali perilaku sistem di dunia nyata (Kusumadewi, Sri dkk. 2010).

Cara kerja *Fuzzy Logic Controller* secara garis besar terdiri dari input, proses dan output. *Fuzzy Logic Controller* merupakan suatu teori himpunan yang dikembangkan untuk mengatasi konsep nilai yang terdapat diantara kebenaran (*truth*) dan kesalahan (*false*). Dengan menggunakan *Fuzzy Logic Controller* logik nilai yang dihasilkan bukan hanya ya (1) atau tidak (0) te tapi seluruh kemungkinan diantara 0 dan 1 (Kusumadewi, Sri dkk. 2010)

Himpunan Fuzzy Logic Controller

Dalam teori *Fuzzy Logic Controller* dikenal himpunan *Fuzzy Logic Controller* (*Fuzzy Logic Controller sets*) yang merupakan pengelompokan sesuatu berdasarkan variabel bahasa (*linguistik variable*) yang dinyatakan dalam fungsi keanggotaan. Didalam semesta pembicaraan (*universe of dicourse*), Fungsi keanggotaan dari suatu himpunan *Fuzzy Logic Controller* tersebut bernilai 0 sampai dengan 1 (Kusumadewi, Sri dkk. 2010).



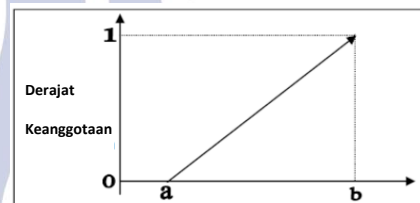
Gambar 1. Contoh keanggotaan himpunan kecepatan (Sumber: Kusumadewi, Sri dkk. 2010)

Fungsi Keanggotaan (*Membership Function*)

Fungsi keanggotaan merupakan suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data kedalam nilai keanggotaannya (*disebut juga dengan derajat keanggotaan*) yang memiliki interval antara 0 sampai 1. Ada beberapa fungsi keanggotaan yang digunakan dalam teori himpunan *Fuzzy Logic Controller* (Kusumadewi, Sri dkk. 2010).

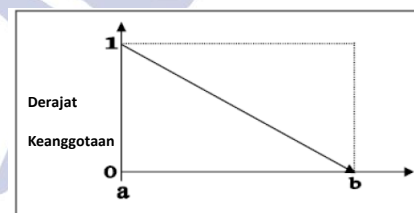
1. Representasi Linear

Pada representasi linear, pemetaan input ke derajat keanggotaannya digambarkan sebagai suatu garis lurus. Bentuk ini paling sederhana dan menjadi pilihan yang baik untuk mendekati suatu konsep yang kurang jelas. Ada 2 keadaan himpunan *Fuzzy Logic Controller* yang linear. Pertama, kenaikan himpunan dimulai pada nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan nol [0] bergerak ke kanan menuju ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih tinggi (Kusumadewi, Sri dkk. 2010).



Gambar 2. Representasi Linear Naik (Sumber: Kusumadewi, Sri dkk. 2010).

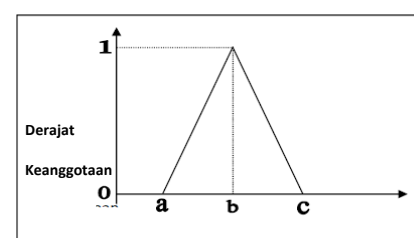
Kedua, merupakan kebalikan. Garis lurus dimulai dari nilai domain dengan derajat keanggotaan tertinggi pada sisi kiri, kemudian bergerak menurun ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih rendah. (Kusumadewi, Sri dkk. 2010).



Gambar 3. Representasi Linear Turun (Sumber: Kusumadewi, Sri dkk. 2010).

2. Representasi Kurva Segitiga

Pada dasarnya merupakan gabungan antara 2 garis (*linear*) (Kusumadewi, Sri dkk. 2010).



Gambar 4. Representasi Kurva Segitiga (Sumber: Kusumadewi, Sri dkk. 2010).

Cara kerja Fuzzy Logic Controller

1. Fuzzifikasi

Fuzzifikasi yaitu suatu proses untuk mengubah Suatu masukan dari bentuk tegas (crisp) menjadi *Fuzzy Logic Controller* (variabel linguistik) yang biasanya disajikan dalam bentuk himpunan *Fuzzy Logic Controller* dengan suatu fungsi kenggotaannya masing-masing.

2. Aturan dasar Fuzzy Logic Controller

Aturan dasar atau *rule base* pada *Fuzzy Logic Controller* merupakan suatu bentuk aturan relasi/implikasi “Jika-Maka” atau “If-Then” seperti pada pernyataan berikut (Kusumadewi, Sri dkk. 2010) “JIKA” X=A dan “JIKA” Y=B “MAKA” Z=C

Contoh dari aturan jika-maka ini pada pengendalian lift barang dengan pengaturan kecepatan motor dc melalui frekuensi variabel adalah sebagai berikut (Kusumadewi, Sri dkk. 2010).

- 1) “JIKA” setpoint besar dan
- 2) “JIKA” beban ringan
- 3) “MAKA” sumber frekuensi diatur menjadi sedang agar kecepatan motor dc sedang.

3. Mesin penalaran Fuzzy Logic Controller (inference engine)

Mesin penalaran (*Inference Engine*) adalah proses implikasi dalam menalar nilai masukan guna penentuan nilai keluar sebagai bentuk pengambil keputusan. Dalam penalaran max-min proses pertama yang dilakukan adalah melakukan operasi operasi min sinyal keluaran lapisan fuzzifikasi, yang diteruskan dengan operasi max untuk mencari nilai keluaran.

4. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan proses pemetaan himpunan *Fuzzy Logic Controller* kemampuan tegas (crisp) proses ini merupakan kebalikan dari proses fuzzifikasi (Kusumadewi, Sri dkk. 2010)

Analisis Karakteristik Orde Satu

Dari model matematis sebuah sistem, orde dari suatu sistem dapat dilihat dari besar pangkat variabel s (dalam transformasi Laplace). Suatu sistem dikatakan ber-orde satu jika fungsi alihnya mempunyai variabel s dengan pangkat tertinggi satu (Ogata, Katsuhiko. 2010). Model sistem orde1 secara matematis dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K}{\tau s + 1} \quad (1)$$

Keterangan :

$C(s)$ = Output sistem .

$R(s)$ = Input sistem.

K = Gain Overall.

$\tau s + 1$ = Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai 63,2% (detik) pada orde satu.

Untuk menentukan parameter K (*Gain Overall*) jika sistem linier, maka hubungan Y_{ss} dengan X_{ss} dapat dituliskan sebagai berikut :

$$k = \frac{Y_{ss}}{X_{ss}} \quad (2)$$

Keterangan :

X_{ss} = Setpoint.

Y_{ss} = Hasil Respon.

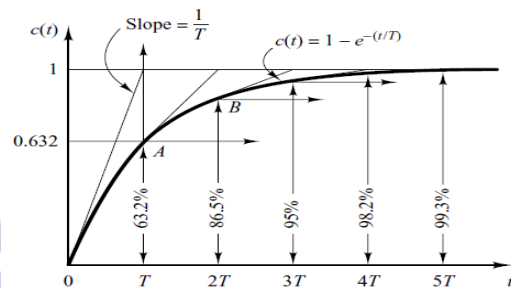
Untuk menentukan konstanta waktu (τ) dapat dihitung melalui respon keluaran sistem ketika mencapai 63,2% dari hasil akhirnya $C(\tau)$ dapat dihitung sebagai berikut :

$$C(\tau) = 0.632 \times Y_{ss} \quad (3)$$

Keterangan :

$C(\tau)$ = Keluaran sistem ketika 63,2% dari hasil akhir.

Bentuk kurva tanggapan eksponensial orde satu ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Kurva Tanggapan Eksponensial Orde 1
(Sumber : Ogata, Katsuhiko. 2010)

Rumus analitik untuk perhitungan parameter respon dari orde satu sebagai berikut :

1. Waktu tunda (τ_d)

$$T_d = \tau \ln 2 \quad (4)$$

2. Waktu naik (τ_r)

a. Waktu naik (5%-95%)

$$T_r = \tau \ln 19 \quad (5)$$

b. Waktu naik (10%-90%)

$$T_r = \tau \ln 9 \quad (6)$$

3. Waktu Tunak (τ_s)

a. Waktu tunak (0.5%)

$$T_s = 5\tau \quad (7)$$

b. Waktu tunak (2%)

$$T_s = 4\tau \quad (8)$$

c. Waktu tunak (5%)

$$T_s = 3\tau \quad (9)$$

4. Persentasi Error Steady State (Ess)

$$Ess = \left| \frac{Y_{ss} - X_{ss}}{X_{ss}} \right| \times 100\% \quad (10)$$

Arduino ATMEGA 2560

Arduino adalah *prototyping platform* sebuah paket berupa papan (*board*) elektronik (*hardware*) dan lingkungan pengembangan (*software*) yang memanfaatkan kemampuan mikrokontroler jenis tertentu. Mikrokontroler yang digunakan pada Arduino adalah jenis Atmel seri ATmega 2560



Gambar 6. Papan Arduino
(Sumber: arduino.cc)

Rotary Encoder

Rotary incremental encoder adalah alat elektromekanik yang berfungsi membaca dan memonitor gerakan atau posisi benda yang berputar. Pada *rotary incremental encoder* biasanya terdapat sensor optik yaitu optocoupler yang berfungsi membaca jumlah pulsa yang dapat diartikan menjadi gerakan, posisi maupun arah yang kemudian diolah menjadi informasi kode digital dan dikirimkan atau diteruskan ke rangkaian kendali. *Rotary incremental encoder* tersusun dari suatu piringan tipis yang memiliki lubang-lubang pada bagian lingkaran piringan (*Datasheet Rotary Encoder*).



Gambar 7. Rotary Encoder
(Sumber: Omron)

Motor DC

Motor DC adalah Motor listrik yang membutuhkan suplai tegangan arus searah atau arus DC (*Direct Current*) pada kumparan medan untuk diubah menjadi energi mekanik (Siswoyo, Bambang. 2012).



Gambar 8. Motor DC
(Sumber: Fakhruddin, Luthfi. 2015)

Terdapat dua bagian utama pada sebuah Motor Listrik DC, yaitu stator dan rotor.

1. Stator adalah bagian motor yang tidak berputar, bagian yang statis ini terdiri dari rangka dan kumparan medan.
2. Rotor adalah bagian yang berputar, bagian Rotor ini terdiri dari kumparan jangkar.

Pada prinsipnya motor listrik DC menggunakan fenomena elektromagnet untuk bergerak, ketika arus listrik diberikan ke kumparan, permukaan kumparan yang bersifat utara akan bergerak menghadap ke magnet yang ber kutub selatan dan kumparan yang bersifat selatan akan bergerak menghadap ke utara magnet. Saat ini, karena kutub utara kumparan bertemu dengan kutub selatan magnet ataupun kutub selatan kumparan bertemu dengan kutub utara magnet maka akan terjadi saling tarik menarik yang menyebabkan pergerakan kumparan berhenti (Kho, Dickson. 2017).

Motor Driver

Pada penelitian ini, modul pengendali motor yang digunakan adalah modul EMS 30A H-bridge. Fungsi modul ini adalah sebagai pengendali kecepatan putaran motor DC sesuai dengan perintah dari controller PLC pengguna. (Fakhruddin, Luthfi. 2015)



Gambar 9. Motor Driver
(Sumber: Fakhruddin, Luthfi. 2015)

Limit Switch

Limit switch merupakan jenis saklar yang dilengkapi dengan katup yang berfungsi menggantikan tombol. Prinsip kerja *limit switch* sama seperti saklar Push ON yaitu hanya akan menghubungkan pada saat katupnya ditekan pada batas penekanan tertentu yang telah ditentukan dan akan memutus saat katup tidak ditekan. *Limit switch* termasuk dalam kategori sensor mekanis yaitu sensor yang akan memberikan perubahan elektrik saat terjadi perubahan mekanik pada sensor tersebut. Penerapan dari *limit switch* dalam penelitian ini digunakan 3 limit switch sebagai sensor posisi untuk proses pengereman.



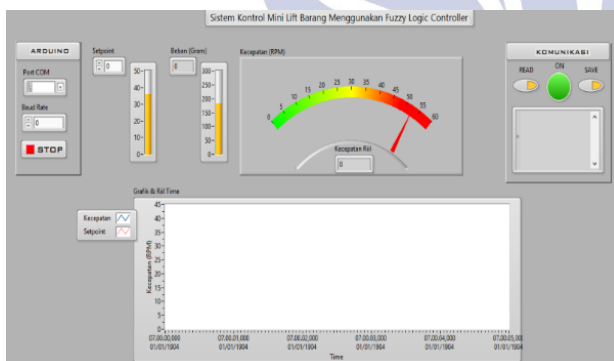
Gambar 10. Limit Switch
(Sumber: Fakhruddin, Luthfi. 2015)

NI VISA

VISA (*The Virtual Instrument Software Architecture*) merupakan *software* untuk konfigurasi, pemrograman dan *troubleshooting* Sistem instrumentasi, PXI, *Serial*, *Ethernet* dan *interface* USB. VISA menyediakan antar muka Pemrograman antara program pengembangan seperti Labview dengan *hardware* seperti Arduino.

LabView

LabVIEW adalah sebuah *software* pemrograman yang diproduksi oleh National Instruments dengan konsep yang berbeda. Seperti bahasa pemrograman lainnya yaitu C++, matlab atau Visual basic, LabVIEW juga mempunyai fungsi dan peranan yang sama, perbedaannya bahwa LabVIEW menggunakan bahasa pemrograman berbasis grafis atau blok diagram sementara bahasa pemrograman lainnya menggunakan basis text. Program LabVIEW dikenal dengan sebutan Vi atau Virtual instruments karena penampilan dan operasinya dapat meniru sebuah instrument. Pada LabVIEW, user pertama-tama membuat user interface atau front panel dengan menggunakan control dan indikator, yang dimaksud dengan control adalah knobs, push buttons, dials dan peralatan input lainnya sedangkan yang dimaksud dengan indikator adalah graphs, LEDs dan peralatan display lainnya (National Instruments).



Gambar 11. Tampilan GUI Labview
(Sumber: Labview 2014)

METODE PENELITIAN

Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif. Yaitu melibatkan perhitungan angka atau kuantifikasi data. Pengumpulan data dilakukan melalui pengukuran dengan menggunakan alat objektif dan baku. Metode penelitian kuantitatif menurut Sugiyono (2015:14).

Rancang bangun Hardware

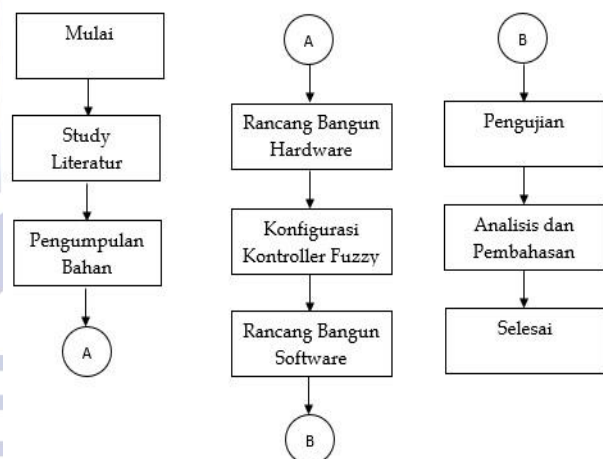
Prototipe ini menggunakan plant mini lift barang sebagai tempat sistem bekerja, terdiri dari 3 lantai lift dan satu atap. Dimensi secara keseluruhan memiliki perbandingan panjang, lebar, dan ketinggian 32cm x 32cm x 175cm. Dimana jika diambil bagian 1 lantai, maka sangkar lift ini berbentuk balok dengan detail ukuran 30cm x 30cm x 30cm.



Gambar 12. Desain Lift Barang 3 Lantai

Rancang Bangun Software

Pada bagian *software* akan dibuat sebuah program pada *software* Arduino, ditampilkan melalui Labview, dan kemudian disinkronkan pada Microsoft Excel untuk menyimpan data secara otomatis. Data tersebut sebelumnya telah diolah pada aplikasi Matlab untuk mendapatkan nilai simulasi terbaik yang disinkronkan pada *software* Arduino. Berikut ini merupakan diagram alir dari rancangan pada penelitian ini.



Gambar 13. Diagram Alir Software

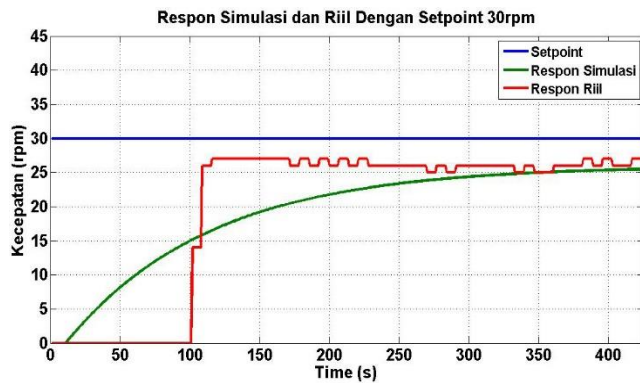
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan ditampilkan dan dijelaskan tentang penelitian yang telah dilakukan yaitu perangkat keras *mini lift* yang meliputi proses kalibrasi sensor *rotary encoder*, pemodelan sistem, perancangan *Fuzzy Logic Controller*, validasi model dan implementasi *Fuzzy Logic Controller* serta pengujian respon sistem menggunakan bantuan aplikasi Matlab 2009 dan Labview 2014.

Pemodelan dan Validasi Sistem

Model matematis dari plant didapatkan dengan memasukkan program tanpa kontroler ke arduino yang telah terhubung dengan Labview. Berikut ini merupakan

gambar dari grafik respon sistem tanpa kontroler saat naik dengan *setpoint* 30 rpm



Gambar 14. Grafik Respon Sistem tanpa Kontroler (Loop Terbuka) *Setpoint* 30 rpm.

Dapat diketahui dari Gambar 14 bahwa saat sistem tidak diberikan kontroler saat naik dengan *setpoint* 30rpm dan nilai $\tau = 10.38085$. Sehingga menghasilkan nilai τ_s (0,5%) sebesar **51.904** detik, nilai τ_s (2%) sebesar **41.523** detik, nilai τ_s (5%) sebesar **31.142** detik. Kemudian, menghasilkan nilai τ_r (5%-95%) sebesar **30.561** detik, nilai τ_r (10%-90%) sebesar **22.809** detik, nilai τ_d sebesar **7.194** detik, dan persentase nilai (E_{ss}) **13.56%**. Perhitungan persamaan (1) adalah :

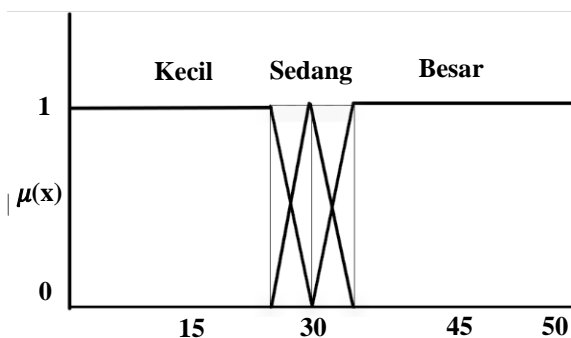
$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{0,864}{10,38s + 1}$$

Perancangan Fuzzy Logic Controller

Pada penelitian ini, *input* untuk semesta pembicaraan *error* berupa *setpoint* dengan nilai rentang semesta 0 rpm sampai 50 rpm dan *delta error* berupa beban yang diberikan dengan nilai rentang semesta 0 gram sampai 300 gram. Kemudian hasil dari output berupa kecepatan akhir dengan nilai rentang semesta 0 rpm sampai 60 rpm. Himpunan Fuzzy yang digunakan pada seluruh variabel menggunakan masing - masing 3 membership dengan bentuk *membership function*.

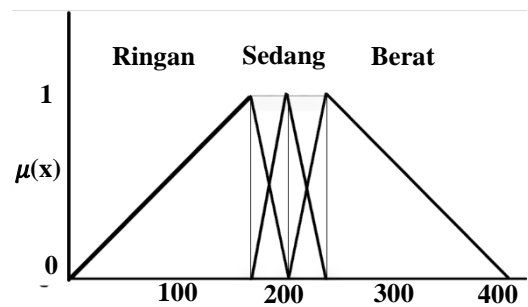
1. Menentukan Himpunan & Output Fuzzy

a) Fungsi Keanggotaan input *error* fuzzy



Gambar 15. Fungsi Keanggotaan input *error* fuzzy

b) Fungsi Keanggotaan input *delta error* fuzzy



Gambar 16. Fungsi Keanggotaan input *delta error* fuzzy

Basis aturan logika Fuzzy yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan aturan *IF-THEN* dengan metode implikasi “*MIN*” dan jumlah aturan yang dihasilkan sesuai dengan jumlah himpunan Fuzzy yang digunakan pada setiap variabel.

Tabel 1. Matrik Rule Base Mini Lift Barang dengan Pengendali Logika Fuzzy

e/de	Kecil	Sedang	Besar
Ringan	Pelan	Pelan	Sedang
Sedang	Pelan	Sedang	Cepat
Berat	Sedang	Cepat	Cepat

Adapun rule yang telah ditetapkan oleh peneliti pada Tabel 1. Matrik Rule Base Mini Lift Barang dengan Pengendali Logika Fuzzy sebagai berikut :

- [R1] *If Setpoint* **Kecil** *And* Beban **Ringan**
Then Kecepatan **Pelan**
- [R2] *If Setpoint* **Kecil** *And* Beban **Sedang**
Then Kecepatan **Pelan**
- [R3] *If Setpoint* **Kecil** *And* Beban **Berat**
Then Kecepatan **Sedang**
- [R4] *If Setpoint* **Sedang** *And* Beban **Ringan**
Then Kecepatan **Pelan**
- [R5] *If Setpoint* **Sedang** *And* Beban **Sedang**
Then Kecepatan **Sedang**
- [R6] *If Setpoint* **Sedang** *And* Beban **Berat**
Then Kecepatan **Cepat**
- [R7] *If Setpoint* **Besar** *And* Beban **Ringan**
Then Kecepatan **Sedang**
- [R8] *If Setpoint* **Besar** *And* Beban **Sedang**
Then Kecepatan **Cepat**
- [R9] *If Setpoint* **Besar** *And* Beban **Berat**
Then Kecepatan **Cepat**

2. Menerapkan Operator Fuzzy

- a) Menentukan variabel masukan *error* bernilai 35 rpm.

$$\begin{aligned}\mu_{SetpointKecil}(35) &= 1 && ; x \leq 25 \\ &\frac{(30 - x)}{(30 - 15)} && ; 25 \leq x \leq 30 \\ &0 && ; x \geq 30 \\ &= 0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu_{SetpointSedang}(35) &= 0 && ; x \leq 25 \\ &\text{atau } x \geq 35 \\ &\frac{(x - 25)}{(30 - 25)} && ; 25 \leq x \leq 30 \\ &\frac{(35 - x)}{(35 - 30)} && ; 30 \leq x \leq 35 \\ &= \frac{(35 - 35)}{(35 - 30)} = 0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu_{SetpointBesar}(35) &= 0 && ; x \leq 30 \\ &\frac{(x - 30)}{(35 - 30)} && ; 30 \leq x \leq 35 \\ &1 && ; x \geq 45 \\ &= \frac{(35 - 30)}{(35 - 30)} = 1\end{aligned}$$

- b) Menentukan variabel masukan *delta error* bernilai 200 gram.

$$\begin{aligned}\mu_{BebanRingan}(200) &= 1 && ; x \leq 175 \\ &\frac{(200 - x)}{(200 - 175)} && ; 175 \leq x \leq 200 \\ &0 && ; x \geq 200 \\ &= 0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu_{BebanSedang}(200) &= 0 && ; x \leq 175 \\ &\text{atau } x \geq 225 \\ &\frac{(x - 175)}{(200 - 175)} && ; 175 \leq x \leq 200 \\ &\frac{(225 - x)}{(225 - 200)} && ; 200 \leq x \leq 225 \\ &= \frac{(200 - 175)}{(200 - 175)} = 1\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu_{BebanBerat}(200) &= 0 && ; x \leq 200 \\ &\frac{(x - 200)}{(225 - 200)} && ; 200 \leq x \leq 225 \\ &1 && ; x \geq 300 \\ &= \frac{(200 - 200)}{(225 - 200)} = 0\end{aligned}$$

3. Menentukan Fungsi Implikasi

[R1] IF **Setpoint Kecil** And **Beban Ringan**
Then **Kecepatan Pelan**
 $\alpha_{Predikat1}$
= $\mu_{SetpointKecil} \cap \mu_{BebanRingan}$
= $\min(\mu_{SK}(35), \mu_{BR}(200))$
= $\min(0;0)$
= 0

Menghitung Z_1 pada R_1 :

$$\begin{aligned}(30 - z) &= 0 \\ (30 - 5) \\ 30 - z &= 0 \times 25 \\ z_1 &= 30\end{aligned}$$

4. Defuzzifikasi (Penegasan)

$$z = \sum_{i=1}^9 \left(\frac{\alpha - \text{predikat}_i \times z_i}{\alpha - \text{predikat}_i} \right)$$

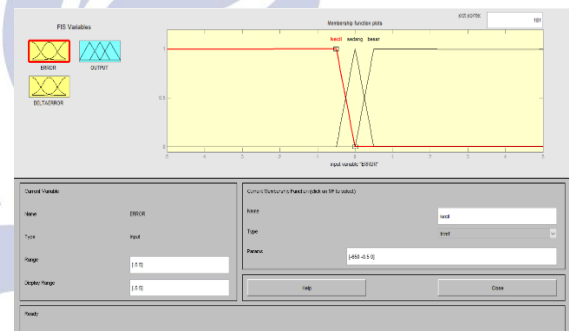
$$z = \frac{\alpha - \text{predikat}_1 \times z_1 + \dots + \alpha - \text{predikat}_9 \times z_9}{\alpha - \text{predikat}_1 + \dots + \alpha - \text{predikat}_9}$$

$$z = \frac{(0 \times 30) + \dots + (0 \times 60)}{0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 1 + 0}$$

$$\begin{aligned}z &= \frac{30}{1} \\ z &= 30\end{aligned}$$

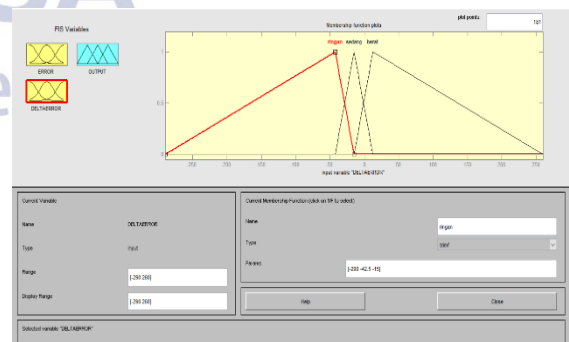
Penyelesaian Fuzzy Logic Controller dengan Metode Mamdani menggunakan MATLAB

1. Himpunan Fuzzy variabel *error*



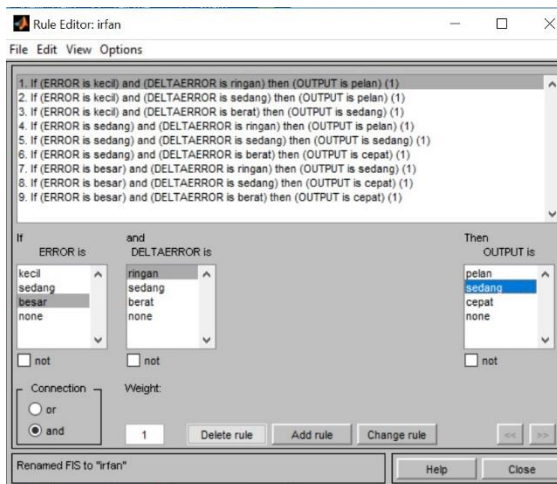
Gambar 17. Himpunan Fuzzy Variabel *error* Matlab

2. Himpunan Fuzzy variabel *delta error*



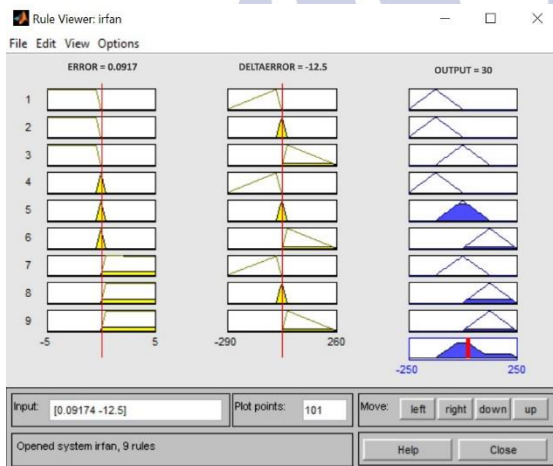
Gambar 18. Himpunan Fuzzy Variabel *delta error* Matlab

3. Aplikasi Fungsi Implikasi



Gambar 19. Aplikasi Fungsi Implikasi Matlab

4. Daerah hasil komposisi jika memiliki *error* 0.917 dan *delta error* -12.5 serta *output* 30.

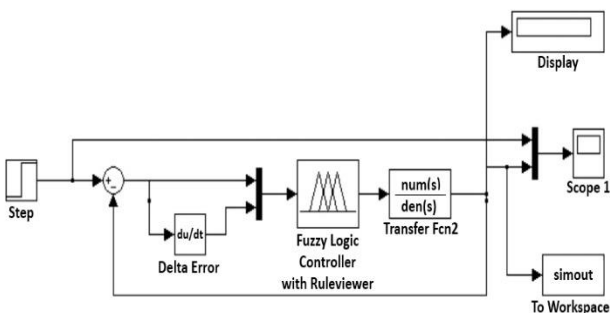


Gambar 20. Rule Viewer Matlab

Implementasi dan Pengujian Respon Sistem menggunakan Matlab

1. Pengujian yang disimulasikan dengan Matlab.

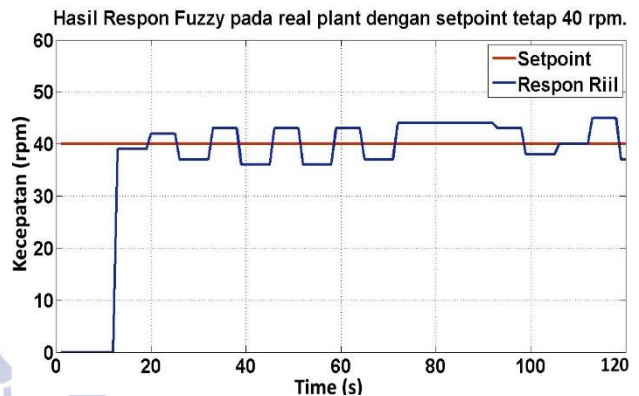
Pada pengujian ini, model matematika fungsi alih yang digunakan dengan *setpoint* 30rpm, kemudian disimulasikan untuk melihat respon *fuzzy*, berikut adalah diagram blok *Simulink Matlab*.



Gambar 21. Diagram blok simulasi logika fuzzy

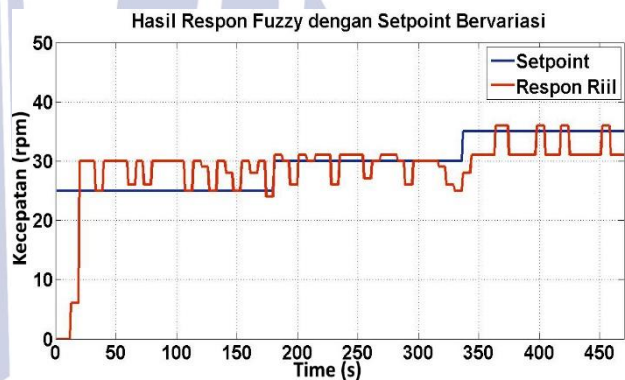
2. Pengujian *Fuzzy Logic Controller* yang diterapkan pada *real plant*.

- a) Pengujian dengan *Setpoint* tetap



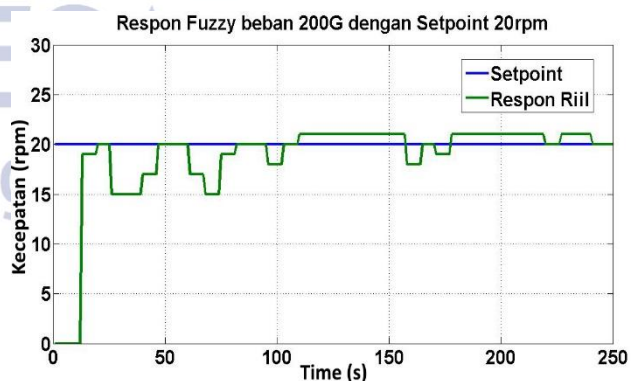
Gambar 22. Hasil Respon *Fuzzy* pada *real plant* saat turun dengan *setpoint* tetap 40 rpm.

- b) Pengujian dengan *Setpoint* bervariasi



Gambar 23. Hasil Respon *Fuzzy* pada *real plant* dengan *setpoint* bervariasi 25rpm, 30rpm dan 35rpm.

- c) Pengujian dengan gangguan berupa beban riil



Gambar 24. Hasil Respon *Fuzzy* pada *real plant* dengan beban 200G pada *setpoint* 20 rpm

Dari data grafik tersebut, kemudian dilakukan analisa salah satu perhitungan parameter dengan *setpoint* 40rpm. Parameter yang akan dihitung adalah τ_d (*Time Delay*), τ_r (*Rise Time*), τ_s (*Settling Time*), E_{ss} (*Error Steady State*) dengan nilai $\tau = 0.97$ detik.

1. Waktu tunda (τ_d)
Perhitungan persamaan (4)
 $\tau_d = 0.67$ detik
2. Waktu naik (τ_r)
 - a. Waktu naik (5%-95%)
Perhitungan persamaan (5)
 $\tau_r = 2.85$ detik
 - b. Waktu naik (10%-90%)
Perhitungan persamaan (6)
 $\tau_r = 2.13$ detik
3. Waktu Tunak (τ_s)
 - a. Waktu tunak (0,5%)
Perhitungan persamaan (7)
 $\tau_s = 4.85$ detik
 - b. Waktu tunak (2%)
Perhitungan persamaan (8)
 $\tau_s = 3.88$ detik
 - c. Waktu tunak (5%)
Perhitungan persamaan (9)
 $\tau_s = 2.91$ detik
4. Persentase *Error Steady State* (Ess)
Perhitungan persamaan (10)
 $Ess = 0.2\%$

Nilai-nilai variabel dari karakteristik respon transien dan steady state dapat dirangkum pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Nilai Variabel terhadap Hasil Respon *Plant*

Parameter	Nilai
Waktu tunak (0,5%)	4.85 detik
Waktu tunak (2%)	3.88 detik
Waktu tunak (5%)	2.91 detik
Waktu naik (5%-95%)	2.85 detik
Waktu naik (10%-90%)	2.13 detik
Waktu tunda (τ_d)	0.67 detik
Persentase <i>Error Steady State</i>	0.2%

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan data hasil respon yang telah diperoleh maka didapatkan fungsi alih dari *plant* menggunakan fuzzy logic controller pada penelitian ini adalah

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{1.002}{0.97s + 1}$$

Nilai parameter fuzzy didapatkan melalui himpunan fuzzy pada variabel *input error*, *delta error* dan *output fuzzy* dengan menggunakan 9 rule base. Kemudian nilai tersebut diterapkan pada *Plant* dan memberikan respon osilasi yang baik pada *setpoint* 40rpm dengan persentase *error steady state* terkecil yaitu 0.2%. Dengan nilai-nilai karakteristik respon lainnya yang terdapat pada Tabel 2, yaitu waktu tunak (τ_s 0,5%) sebesar 4.85s, (τ_s 2%) sebesar 3.88s, (τ_s 5%) 2.91s, waktu naik (τ_r 5%-95%) 2.85s, (τ_r 10%-90%) 2.13s, dan waktu tunda (τ_d) 0.67 detik.

Saran

Model atau fungsi alih yang didapatkan banyak yang masih kurang baik, meskipun peneliti dapat mendapatkan hasil error sangat kecil. sehingga dapat dilakukan metode pendekatan yang lain agar mendapatkan fungsi alih yang lebih baik dari penelitian ini, dengan menjadikan nilai parameter fuzzy pada penelitian ini sebagai acuan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arduino. 2018. "Arduino Uno R3". (Online). (<https://arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>) diakses pada 27 Desember 2018
- Encoder, Rotary. 2016. "Rotary Encoder". (Online) (<https://digilib.its.ac.id>) diakses pada tanggal 3 Januari 2019.
- Fakhrudin, Luthfi. 2015. "Sistem Pengendali Kecepatan Motor DC pada Lift Barang Menggunakan Kontroler PID Berbasis ATMEGA 2560". Jurnal Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
- Kho, Dickson. 2017. Pengertian Motor DC Dan Prinsip Kerjanya. (www.teknikelektronika.com/pengertian-motor-dc-prinsip-kerja-dc-motor/) diakses pada 25 Januari 2019
- Kusumadewi, Sri dkk. 2010. *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan Edisi 2*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Instruments, National. 2019. "What is LabVIEW?". (Online). (<http://www.ni.com/labview/>, diakses pada 20 Desember 2018).
- Ogata, Katsuhiko. 2010. "Modern Control Engineering fifth edition". New York: Prentice-Hall, Inc.
- Omron. *Technical Explanation for Rotary Encoders*. Omron Industrial Automation. New Zealand.
- Siswoyo, Bambang. 2012. "Motor DC Model State Space". (Online). (<http://bsiswoyo.lecture.ub.ac.id/201/01/motor-dc-model-state-space/>) diakses pada tanggal 11 Januari 2019).
- Sugiyono. 2015. "Metodelogi Penelitian". (Online) (<http://repository.unpas.ac.id/30086/5/BAB%20II.pdf>) Pasundan: Unpas
- Siswoyo, Bambang. 2012. "Motor DC Model State Space". (Online). (<http://bsiswoyo.lecture.ub.ac.id/201/01/motor-dc-model-state-space/>,) diakses pada tanggal 11 Januari 2019).
- Tim Penulis. 2014. "Buku Pedoman Penulisan dan Ujian Skripsi Unesa". Surabaya: UNESA.
- Widi, Prabaswari. 2012. "Resume Lift". (Online). (https://www.academia.edu/25176630/Resume_Lift?auto=download) diakses pada 2 Januari 2019